

# Datsi' problémy

1 překladač

$x = 0$

while ( $x == 0$ );

$x = 1$

$a = x$

$b = x$

```

if (a)
{
    x = b;
}
else
{
    y = b;
}
...

```

volatile int x;

2 hardware

$$\frac{a=1}{b=1}$$

Může mít

m.lock();  
... zapisy...  
m.unlock();

m.lock(); ← acquire  
... čtení...  
m.unlock();

→ barrier

universalní

jen čtení / zapis

acquire / release

C/C++ 11

parallel / partitní model  
atomické operace

barrier

admit

parallel DS:

- blokující
- obstruction-free (pokud ostatní stojí, já určitě dokončím operaci)
- lock-free (alespoň 1 v konečném čase uspěje)
- wait-free (já v konečném čase uspěji)
- bounded wait-free ↪ + vlastní horizont odklad

[Herlihy 1991]

## Protocol pro konsensus

- procesy nabídnou hodnoty  $x_1 - x_n$
- všechni dostanou stejnou odpověď
- odpověď je 1 z nabízených hodnot

K

Pro 2 procesy stačí test-and-set

PE 2, 13

```

decide(x):
    word[P] ← x
    if TAS(bit) == 0:
        return word[P]
    else:
        return word[P]

```

Věta: Pro 3 procesy TAS nestáčí.

Pro lib. n procesů CAS:

```

decide(x):
    y = CAS(reg, ∅, x)
    if y = ∅:
        return x
    else:
        return y

```

reg ∅

Df: Consensus number pro procesy, pro který lze konsensus realizovat na  $x + \text{arbitrary inf}$

## Atomické operace

Cons. H

- atomické registry
- exchange
- test and set bitu
- fetch & add
- parallel přípravu do n registrech
- LL/SC load locked, store conditional
- CTS compare & swap

1 → {  
2 → {  
3 → {  
4 → {  
5 → {  
6 → {  
7 → {  
8 → {  
9 → {  
10 → {  
11 → {  
12 → {  
13 → {  
14 → {  
15 → {  
16 → {  
17 → {  
18 → {  
19 → {  
20 → {  
21 → {  
22 → {  
23 → {  
24 → {  
25 → {  
26 → {  
27 → {  
28 → {  
29 → {  
30 → {  
31 → {  
32 → {  
33 → {  
34 → {  
35 → {  
36 → {  
37 → {  
38 → {  
39 → {  
40 → {  
41 → {  
42 → {  
43 → {  
44 → {  
45 → {  
46 → {  
47 → {  
48 → {  
49 → {  
50 → {  
51 → {  
52 → {  
53 → {  
54 → {  
55 → {  
56 → {  
57 → {  
58 → {  
59 → {  
60 → {  
61 → {  
62 → {  
63 → {  
64 → {  
65 → {  
66 → {  
67 → {  
68 → {  
69 → {  
70 → {  
71 → {  
72 → {  
73 → {  
74 → {  
75 → {  
76 → {  
77 → {  
78 → {  
79 → {  
80 → {  
81 → {  
82 → {  
83 → {  
84 → {  
85 → {  
86 → {  
87 → {  
88 → {  
89 → {  
90 → {  
91 → {  
92 → {  
93 → {  
94 → {  
95 → {  
96 → {  
97 → {  
98 → {  
99 → {  
100 → {  
101 → {  
102 → {  
103 → {  
104 → {  
105 → {  
106 → {  
107 → {  
108 → {  
109 → {  
110 → {  
111 → {  
112 → {  
113 → {  
114 → {  
115 → {  
116 → {  
117 → {  
118 → {  
119 → {  
120 → {  
121 → {  
122 → {  
123 → {  
124 → {  
125 → {  
126 → {  
127 → {  
128 → {  
129 → {  
130 → {  
131 → {  
132 → {  
133 → {  
134 → {  
135 → {  
136 → {  
137 → {  
138 → {  
139 → {  
140 → {  
141 → {  
142 → {  
143 → {  
144 → {  
145 → {  
146 → {  
147 → {  
148 → {  
149 → {  
150 → {  
151 → {  
152 → {  
153 → {  
154 → {  
155 → {  
156 → {  
157 → {  
158 → {  
159 → {  
160 → {  
161 → {  
162 → {  
163 → {  
164 → {  
165 → {  
166 → {  
167 → {  
168 → {  
169 → {  
170 → {  
171 → {  
172 → {  
173 → {  
174 → {  
175 → {  
176 → {  
177 → {  
178 → {  
179 → {  
180 → {  
181 → {  
182 → {  
183 → {  
184 → {  
185 → {  
186 → {  
187 → {  
188 → {  
189 → {  
190 → {  
191 → {  
192 → {  
193 → {  
194 → {  
195 → {  
196 → {  
197 → {  
198 → {  
199 → {  
200 → {  
201 → {  
202 → {  
203 → {  
204 → {  
205 → {  
206 → {  
207 → {  
208 → {  
209 → {  
210 → {  
211 → {  
212 → {  
213 → {  
214 → {  
215 → {  
216 → {  
217 → {  
218 → {  
219 → {  
220 → {  
221 → {  
222 → {  
223 → {  
224 → {  
225 → {  
226 → {  
227 → {  
228 → {  
229 → {  
230 → {  
231 → {  
232 → {  
233 → {  
234 → {  
235 → {  
236 → {  
237 → {  
238 → {  
239 → {  
240 → {  
241 → {  
242 → {  
243 → {  
244 → {  
245 → {  
246 → {  
247 → {  
248 → {  
249 → {  
250 → {  
251 → {  
252 → {  
253 → {  
254 → {  
255 → {  
256 → {  
257 → {  
258 → {  
259 → {  
260 → {  
261 → {  
262 → {  
263 → {  
264 → {  
265 → {  
266 → {  
267 → {  
268 → {  
269 → {  
270 → {  
271 → {  
272 → {  
273 → {  
274 → {  
275 → {  
276 → {  
277 → {  
278 → {  
279 → {  
280 → {  
281 → {  
282 → {  
283 → {  
284 → {  
285 → {  
286 → {  
287 → {  
288 → {  
289 → {  
290 → {  
291 → {  
292 → {  
293 → {  
294 → {  
295 → {  
296 → {  
297 → {  
298 → {  
299 → {  
300 → {  
301 → {  
302 → {  
303 → {  
304 → {  
305 → {  
306 → {  
307 → {  
308 → {  
309 → {  
310 → {  
311 → {  
312 → {  
313 → {  
314 → {  
315 → {  
316 → {  
317 → {  
318 → {  
319 → {  
320 → {  
321 → {  
322 → {  
323 → {  
324 → {  
325 → {  
326 → {  
327 → {  
328 → {  
329 → {  
330 → {  
331 → {  
332 → {  
333 → {  
334 → {  
335 → {  
336 → {  
337 → {  
338 → {  
339 → {  
340 → {  
341 → {  
342 → {  
343 → {  
344 → {  
345 → {  
346 → {  
347 → {  
348 → {  
349 → {  
350 → {  
351 → {  
352 → {  
353 → {  
354 → {  
355 → {  
356 → {  
357 → {  
358 → {  
359 → {  
360 → {  
361 → {  
362 → {  
363 → {  
364 → {  
365 → {  
366 → {  
367 → {  
368 → {  
369 → {  
370 → {  
371 → {  
372 → {  
373 → {  
374 → {  
375 → {  
376 → {  
377 → {  
378 → {  
379 → {  
380 → {  
381 → {  
382 → {  
383 → {  
384 → {  
385 → {  
386 → {  
387 → {  
388 → {  
389 → {  
390 → {  
391 → {  
392 → {  
393 → {  
394 → {  
395 → {  
396 → {  
397 → {  
398 → {  
399 → {  
400 → {  
401 → {  
402 → {  
403 → {  
404 → {  
405 → {  
406 → {  
407 → {  
408 → {  
409 → {  
410 → {  
411 → {  
412 → {  
413 → {  
414 → {  
415 → {  
416 → {  
417 → {  
418 → {  
419 → {  
420 → {  
421 → {  
422 → {  
423 → {  
424 → {  
425 → {  
426 → {  
427 → {  
428 → {  
429 → {  
430 → {  
431 → {  
432 → {  
433 → {  
434 → {  
435 → {  
436 → {  
437 → {  
438 → {  
439 → {  
440 → {  
441 → {  
442 → {  
443 → {  
444 → {  
445 → {  
446 → {  
447 → {  
448 → {  
449 → {  
450 → {  
451 → {  
452 → {  
453 → {  
454 → {  
455 → {  
456 → {  
457 → {  
458 → {  
459 → {  
460 → {  
461 → {  
462 → {  
463 → {  
464 → {  
465 → {  
466 → {  
467 → {  
468 → {  
469 → {  
470 → {  
471 → {  
472 → {  
473 → {  
474 → {  
475 → {  
476 → {  
477 → {  
478 → {  
479 → {  
480 → {  
481 → {  
482 → {  
483 → {  
484 → {  
485 → {  
486 → {  
487 → {  
488 → {  
489 → {  
490 → {  
491 → {  
492 → {  
493 → {  
494 → {  
495 → {  
496 → {  
497 → {  
498 → {  
499 → {  
500 → {  
501 → {  
502 → {  
503 → {  
504 → {  
505 → {  
506 → {  
507 → {  
508 → {  
509 → {  
510 → {  
511 → {  
512 → {  
513 → {  
514 → {  
515 → {  
516 → {  
517 → {  
518 → {  
519 → {  
520 → {  
521 → {  
522 → {  
523 → {  
524 → {  
525 → {  
526 → {  
527 → {  
528 → {  
529 → {  
530 → {  
531 → {  
532 → {  
533 → {  
534 → {  
535 → {  
536 → {  
537 → {  
538 → {  
539 → {  
540 → {  
541 → {  
542 → {  
543 → {  
544 → {  
545 → {  
546 → {  
547 → {  
548 → {  
549 → {  
550 → {  
551 → {  
552 → {  
553 → {  
554 → {  
555 → {  
556 → {  
557 → {  
558 → {  
559 → {  
560 → {  
561 → {  
562 → {  
563 → {  
564 → {  
565 → {  
566 → {  
567 → {  
568 → {  
569 → {  
570 → {  
571 → {  
572 → {  
573 → {  
574 → {  
575 → {  
576 → {  
577 → {  
578 → {  
579 → {  
580 → {  
581 → {  
582 → {  
583 → {  
584 → {  
585 → {  
586 → {  
587 → {  
588 → {  
589 → {  
590 → {  
591 → {  
592 → {  
593 → {  
594 → {  
595 → {  
596 → {  
597 → {  
598 → {  
599 → {  
600 → {  
601 → {  
602 → {  
603 → {  
604 → {  
605 → {  
606 → {  
607 → {  
608 → {  
609 → {  
610 → {  
611 → {  
612 → {  
613 → {  
614 → {  
615 → {  
616 → {  
617 → {  
618 → {  
619 → {  
620 → {  
621 → {  
622 → {  
623 → {  
624 → {  
625 → {  
626 → {  
627 → {  
628 → {  
629 → {  
630 → {  
631 → {  
632 → {  
633 → {  
634 → {  
635 → {  
636 → {  
637 → {  
638 → {  
639 → {  
640 → {  
641 → {  
642 → {  
643 → {  
644 → {  
645 → {  
646 → {  
647 → {  
648 → {  
649 → {  
650 → {  
651 → {  
652 → {  
653 → {  
654 → {  
655 → {  
656 → {  
657 → {  
658 → {  
659 → {  
660 → {  
661 → {  
662 → {  
663 → {  
664 → {  
665 → {  
666 → {  
667 → {  
668 → {  
669 → {  
670 → {  
671 → {  
672 → {  
673 → {  
674 → {  
675 → {  
676 → {  
677 → {  
678 → {  
679 → {  
680 → {  
681 → {  
682 → {  
683 → {  
684 → {  
685 → {  
686 → {  
687 → {  
688 → {  
689 → {  
690 → {  
691 → {  
692 → {  
693 → {  
694 → {  
695 → {  
696 → {  
697 → {  
698 → {  
699 → {  
700 → {  
701 → {  
702 → {  
703 → {  
704 → {  
705 → {  
706 → {  
707 → {  
708 → {  
709 → {  
710 → {  
711 → {  
712 → {  
713 → {  
714 → {  
715 → {  
716 → {  
717 → {  
718 → {  
719 → {  
720 → {  
721 → {  
722 → {  
723 → {  
724 → {  
725 → {  
726 → {  
727 → {  
728 → {  
729 → {  
730 → {  
731 → {  
732 → {  
733 → {  
734 → {  
735 → {  
736 → {  
737 → {  
738 → {  
739 → {  
740 → {  
741 → {  
742 → {  
743 → {  
744 → {  
745 → {  
746 → {  
747 → {  
748 → {  
749 → {  
750 → {  
751 → {  
752 → {  
753 → {  
754 → {  
755 → {  
756 → {  
757 → {  
758 → {  
759 → {  
760 → {  
761 → {  
762 → {  
763 → {  
764 → {  
765 → {  
766 → {  
767 → {  
768 → {  
769 → {  
770 → {  
771 → {  
772 → {  
773 → {  
774 → {  
775 → {  
776 → {  
777 → {  
778 → {  
779 → {  
780 → {  
781 → {  
782 → {  
783 → {  
784 → {  
785 → {  
786 → {  
787 → {  
788 → {  
789 → {  
790 → {  
791 → {  
792 → {  
793 → {  
794 → {  
795 → {  
796 → {  
797 → {  
798 → {  
799 → {  
800 → {  
801 → {  
802 → {  
803 → {  
804 → {  
805 → {  
806 → {  
807 → {  
808 → {  
809 → {  
810 → {  
811 → {  
812 → {  
813 → {  
814 → {  
815 → {  
816 → {  
817 → {  
818 → {  
819 → {  
820 → {  
821 → {  
822 → {  
823 → {  
824 → {  
825 → {  
826 → {  
827 → {  
828 → {  
829 → {  
830 → {  
831 → {  
832 → {  
833 → {  
834 → {  
835 → {  
836 → {  
837 → {  
838 → {  
839 → {  
840 → {  
841 → {  
842 → {  
843 → {  
844 → {  
845 → {  
846 → {  
847 → {  
848 → {  
849 → {  
850 → {  
851 → {  
852 → {  
853 → {  
854 → {  
855 → {  
856 → {  
857 → {  
858 → {  
859 → {  
860 → {  
861 → {  
862 → {  
863 → {  
864 → {  
865 → {  
866 → {  
867 → {  
868 → {  
869 → {  
870 → {  
871 → {  
872 → {  
873 → {  
874 → {  
875 → {  
876 → {  
877 → {  
878 → {  
879 → {  
880 → {  
881 → {  
882 → {  
883 → {  
884 → {  
885 → {  
886 → {  
887 → {  
888 → {  
889 → {  
890 → {  
891 → {  
892 → {  
893 → {  
894 → {  
895 → {  
896 → {  
897 → {  
898 → {  
899 → {  
900 → {  
901 → {  
902 → {  
903 → {  
904 → {  
905 → {  
906 → {  
907 → {  
908 → {  
909 → {  
910 → {  
911 → {  
912 → {  
913 → {  
914 → {  
915 → {  
916 → {  
917 → {  
918 → {  
919 → {  
920 → {  
921 → {  
922 → {  
923 → {  
924 → {  
925 → {  
926 → {  
927 → {  
928 → {  
929 → {  
930 → {  
931 → {  
932 → {  
933 → {  
934 → {  
935 → {  
936 → {  
937 → {  
938 → {  
939 → {  
940 → {  
941 → {  
942 → {  
943 → {  
944 → {  
945 → {  
946 → {  
947 → {  
948 → {  
949 → {  
950 → {  
951 → {  
952 → {  
953 → {  
954 → {  
955 → {  
956 → {  
957 → {  
958 → {  
959 → {  
960 → {  
961 → {  
962 → {  
963 → {  
964 → {  
965 → {  
966 → {  
967 → {  
968 → {  
969 → {  
970 → {  
971 → {  
972 → {  
973 → {  
974 → {  
975 → {  
976 → {  
977 → {  
978 → {  
979 → {  
980 → {  
981 → {  
982 → {  
983 → {  
984 → {  
985 → {  
986 → {  
987 → {  
988 → {  
989 → {  
990 → {  
991 → {  
992 → {  
993 → {  
994 → {  
995 → {  
996 → {  
997 → {  
998 → {  
999 → {  
1000 → {  
1001 → {  
1002 → {  
1003 → {  
1004 → {  
1005 → {  
1006 → {  
1007 → {  
1008 → {  
1009 → {  
1010 → {  
1011 → {  
1012 → {  
1013 → {  
1014 → {  
1015 → {  
1016 → {  
1017 → {  
1018 → {  
1019 → {  
1020 → {  
1021 → {  
1022 → {  
1023 → {  
1024 → {  
1025 → {  
1026 → {  
1027 → {  
1028 → {  
1029 → {  
1030 → {  
1031 → {  
1032 → {  
1033 → {  
1034 → {  
1035 → {  
1036 → {  
1037 → {  
1038 → {  
1039 → {  
1040 → {  
1041 → {  
1042 → {  
1043 → {  
1044 → {  
1045 → {  
1046 → {  
1047 → {  
1048 → {  
1049 → {  
1050 → {  
1051 → {  
1052 → {  
1053 → {  
1054 → {  
1055 → {  
1056 → {  
1057 → {  
1058 → {  
1059 → {  
1060 → {  
1061 → {  
1062 → {  
1063 → {  
1064 → {  
1065 → {  
1066 → {  
1067 → {  
1068 → {  
1069 → {  
1070 → {  
1071 → {  
1072 → {  
1073 → {  
1074 → {  
1075 → {  
1076 → {  
1077 → {  
1078 → {  
1079 → {  
1080 → {  
1081 → {  
1082 → {  
1083 → {  
1084 → {  
1085 → {  
1086 → {  
1087 → {  
1088 → {  
1089 → {  
1090 → {  
1091 → {  
1092 → {  
1093 → {  
1094 → {  
1095 → {  
1096 → {  
1097 → {  
1098 → {  
1099 → {  
1100 → {  
1101 → {  
1102 → {  
1103 → {  
1104 → {  
1105 → {  
1106 → {  
1107 → {  
1108 → {  
1109 → {  
1110 → {  
1111 → {  
1112 → {  
1113 → {  
1114 → {  
1115 → {  
1116 → {  
1117 → {  
1118 → {  
1119 → {  
1120 → {  
1121 → {  
1122 → {  
1123 → {  
1124 → {  
1125 → {  
1126 → {  
1127 → {  
1128 → {  
1129 → {  
1130 → {  
1131 → {  
1132 → {  
1133 → {  
1134 → {  
1135 → {  
1136 → {  
1137 → {  
1138 → {  
1139 → {  
1140 → {  
1141 → {  
1142 → {  
1143 → {  
1144 → {  
1145 → {  
1146 → {  
1147 → {  
1148 → {  
1149 → {  
1150 → {  
1151 → {  
1152 → {  
1153 → {  
1154 → {  
1155 → {  
1156 → {<

# Universální wait-free protocol [Herlihy]

Op: Star  $\times$  Arg  $\rightarrow$  Star  $\times$  Res

## Star struktury

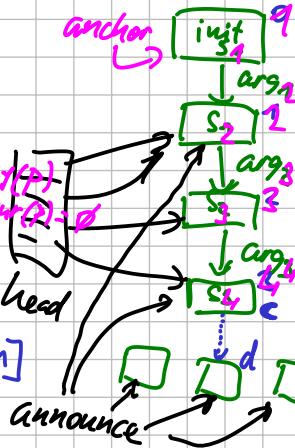
- Cell: seq (int) - pořadové číslo
- arg - argument operace, kterou vznikl akt. stav
- new - akt. stav (objekt pro konsensus)
- next - uživatel na další buňku (obj. pro konsensus)
- prev - předch. buňka (atom. uživatel)

globální: announce [P]  $\leftarrow$  právě přidružená buňka  
 head [P]  $\leftarrow$  uživatel na který se zaznamenává  
 na pol. kotva

"<" na funkciích porovnává Seq  
 $\min\{cell_1, cell_2\}$   
 $\max\{head_1, head_2\} := \max\{c \mid c < head_1, c < head_2\}$

## Operate (arg):

- $mine \leftarrow Cell(\text{seq}=0, \text{arg}=\text{arg}_1, \text{new}=\emptyset, \text{next}=\emptyset, \text{prev}=\emptyset)$
- $\text{announce}[P] \leftarrow mine$  :  $\text{start}(P) = \text{mine}$
- $\text{head}[P] \leftarrow \max(\text{head})$
- $\text{while } mine.\text{seq} = 0:$
- $c \leftarrow \text{Head}[P]$
- $help \leftarrow \text{announce}[c.\text{seq \% } n]$
- $\text{if } help.\text{seq} = 0:$   
 $\quad \text{prefer} \leftarrow \text{help}$   
 $\text{else: } \text{prefer} \leftarrow \text{mine}$
- $d \leftarrow c.\text{next}.\text{decide}(\text{prefer})$
- $d.\text{new}.\text{decide}(\text{Op}(c.\text{new}, d.\text{arg}))$
- $d.\text{prev} \leftarrow c$
- $d.\text{seq} \leftarrow c.\text{seq} + 1$
- $\text{head}[P] \leftarrow d$
- $\text{head}[P] \leftarrow \text{mine}$  ←  $\text{pridání do sítě}$
- Return  $mine.\text{new}$  ←  $\text{Concur}(P)$



$n := H \text{ procesů}$   
 $P := číslo, aktuálního procesu \in \{0 - L-1\}$   
 nové buňky

$\text{start}(P) \leq \max(\text{head}).\text{seq}$

v obecném  
 Announce[Q] procesem P  
 $\text{Concur}(P) :=$  uživatelská funkce, které přibýly do sítě od obecného Announce v P

$$\max(\text{head}).\text{seq} = \text{start}(P) + |\text{concur}(P)|$$

L1 Pokud  $|\text{concur}(P)| > n$ , pak  $\text{announce}[P] \neq \text{head}$  (obecně uživatelský proces P)

Def:

$\hookrightarrow \text{concur}(P)$  obsahuje buňky se

$\text{Seq} \equiv P-1 \pmod{n}$  ← buňka Q přidaná procesem Q

$\text{Seq} \equiv P \pmod{n}$  ← buňka R přidaná procesem R

- $q \in \text{concur}(P) \Rightarrow Q$  připojil buňku Q
- předtím, co P ovládá!
- R připojil r za q  $\rightarrow$  v kroku 5 procesu R je  $\text{head}[R]$  nastaveno na q
- předtím Q nastavil  $\text{head}[Q] \leftarrow q \rightarrow$  buňka Q je připojena procesem Q
- v kroku 5 procesu R (člen  $\text{head}[R]$ ) je už nastaveno  $\text{announce}[P]$
- pak je  $\text{but ann}[P]$  už zapojen!

nebo  $r = \text{ann}[P]$

$|\text{concur}(P)| =$

$\max(\text{head}).\text{seq} - \text{start}(P)$

L2  $\max(\text{head}).\text{seq} \geq \text{start}(P)$

L4 po kroku 3:  $\text{head}[P].\text{seq} \geq \text{start}(P)$

L5  $|\text{concur}(P)| \geq \text{head}(P).\text{seq} - \text{start}(P) \geq 0$

L5

v každém průchodu cyklem while se dolní odkaz na  $|\text{concur}(P)|$  zvýší až po 0.

$\Rightarrow$  po nejvýše  $n+1$  průchodech platí předp. od L1  
 $\Rightarrow$  cyklus skončí!